

# 用气象卫星遥感监测沙尘暴的方法和初步结果

方宗义 张运刚 郑新江 曹云昌

(中国气象局国家卫星气象中心,北京 100081)

**摘要** 本文在简要介绍气象卫星探测特点的基础上,着重讨论了利用 NOAA 卫星、FY-1C 卫星和 GMS-5及 FY-2B卫星上的星载扫描辐射仪监测沙尘暴的原理和方法。最后以 2000 年 4 月 6~7 日发生在我国内蒙古地区至华北一带的强沙尘暴为例,说明用这种手段不仅能监测到沙尘暴的发生,还能有效地监测其发展和演变,是监测和预警沙尘暴的重要手段和依据。

**主题词** 沙尘暴 气象卫星遥感 监测

## 1 引言

沙尘是风将地表的沙土扬至空中使空气变浑浊、大气能见度变低,近地层大气中悬浮颗粒物——气溶胶急剧增加的一种自然现象。强风将大量沙尘吹起而使能见度小于 1 000m的天气现象则称为沙尘暴。当风速小于 20m/s,能见度小于 200m 时为强沙尘暴;风速大于 25m/s,能见度小于 50m 时为特强沙尘暴<sup>[1]</sup>。我国的西北地区是全球四大沙尘暴多发区之一。在该地区由沙尘暴造成的交通中断、土地沙化、房屋人员伤亡等灾难性事件时有发生,是制约可持续发展和西部大开发的因素之一。另外,沙尘暴将大量尘土扬至空中,其中形成浮尘的微粒将在对流层中维持较长的时间,并输送到下游数千公里处。这些悬浮在空中的沙尘在把部分入射的太阳短波辐射散射回太空的同时,也改变了那里的发射特性,从而影响地气系统的辐射收支,进而引起短期气候变化。沙尘暴灾害的监测和预警及短期气候变化的监测和预测,首先需要知道沙尘暴的发生、发展、演变及其光学厚度。

由于沙尘暴均发生于荒漠地区,常规气象观测站十分稀少,滞后观测和漏测的事件时有发生。自 1960 年 4 月世界上第一颗气象卫星升空以来,气象工作者就试图利用悬浮在大气中的沙尘粒子对大气散射特性和辐射特性的改变这一特征,在气象卫星图像上判识其相应的型式和分布,从而实现对其的监测。如: T. N. Carlson<sup>[2]</sup>利用卫星观测的亮度资料确定撒哈拉地区沙尘的爆发及其相应的大气扰动。C. Norton 等<sup>[3]</sup>利用静止气象卫星在可见光波段的观测资料监测海洋上空的沙尘爆发,并估算其光学厚度。A. A. Steven<sup>[4]</sup>利用 3.7 $\mu\text{m}$ 和 11 $\mu\text{m}$ 的辐射亮温差来监测沙尘爆发的路径。郑新江和卢风等<sup>[5]</sup>使用卫星资料研究中国的沙尘暴。本文的目的是研究利用多种气象卫星资料监测沙尘暴的方法,并通过

---

第一作者简介:方宗义 男 62岁 研究员 大气遥感学专业 E-mail:fangzy@nsmc.cma.org.cn  
2000-10-25 收稿,2000-11-16 收修改稿

对一次沙尘暴过程的连续监测说明这种方法的有效性和应用于业务监测的可能性。

2 监测方法

2.1 业务气象卫星的遥感探测器

目前在气象业务中使用的气象卫星有两类<sup>[6]</sup>:极轨气象卫星和静止气象卫星。极轨气象卫星(包括美国的 NOAA 卫星和我国的 FY-1 系列卫星),它们都携带有探测大气窗区反射辐射的通道 1 和 2、探测大气窗区发射辐射的通道 4 和 5 以及探测既有反射又有发射的短波红外窗区通道 3。这就说明,利用这两种卫星的上述 5 个通道的卫星测值,均可以遥感到下垫面(陆面、洋面、冰面、雪面和植被冠层)对太阳辐射的反射辐射和本身的发射辐射,而基本不受大气成分的吸收和发射的影响。当大气中悬浮有大颗粒的气溶胶和沙尘时,其情况又当别论。浓度甚大的气溶胶和沙尘对太阳短波辐射产生很强的后向散射,足以明显地改变地气系统的反照率。同样,对长波红外辐射而言,它们在空中组成类似于云那样的物质表面,足以改变那里的长波发射辐射的分布。这是利用气象卫星遥感技术监测沙尘暴的基础。

目前的全球业务气象卫星监测系统由极地轨道和地球静止轨道在观测时间和观测范围方面相互补充的两类气象卫星组成。其星上遥感探测器的主要技术参数见表 1 和表 2。静止气象卫星的特点是相对静止于地球赤道的某一点上空,对它的视场范围进行高频次观测。它们与极轨气象卫星的 1, 2, 4, 5 通道类似,只不过极轨气象卫星的通道光谱范围更窄,能够探测到更细微的特征。

表1 目前正在运行的NOAA卫星携带的甚高分辨率  
扫描辐射仪(AVHRR-3)的主要技术参数

Table 1 The primary technical parameters for the AVHRR-3 carried by NOAA

通道	光谱范围/ $\mu\text{m}$	分辨率/km	主要任务
1	0.58~0.68	1.1	白天云图、植被、冰雪和气溶胶
2	0.725~1.1	1.1	白天云图、植被、水陆边界和气溶胶
3	3.5~4.3	1.1	SST、高温热源和森林火灾
4	10.3~11.3	1.1	云图、SST、TBB和水汽校正
5	11.5~12.5	1.1	云图、SST、TBB和水汽校正
6	1.58~1.64	1.1	白天云图、云雪区分、云相区分和干旱监测

表2 目前正在运行的日本静止气象卫星GMS-5携带的主要遥感探测器  
可见光和红外自旋扫描辐射仪(VISSR)的主要技术参数

Table 2 The primary technical parameters for the VISSR carried by Japanese GMS-5

通道	光谱范围/ $\mu\text{m}$	分辨率/km	主要任务
1	0.55~0.90	1.25	白天云图、地表特征、风和气溶胶
2	6.5~7.0	4	水汽图和风
3	10.5~11.5	4	云图、SST、水汽校正和风
4	11.5~12.5	4	云图、SST、水汽校正和风

两类轨道卫星探测通道的类似性说明,用于极轨气象卫星的监测方法,原则上也可用于静止气象卫星。这样,就为利用静止气象卫星探测手段高频次地监测沙尘暴的发生和演变提供了依据。

## 2.2 利用气象卫星监测沙尘暴的方法

联合使用极轨和静止气象卫星的可见光与红外窗区通道辐射测值,是识别气溶胶的一个很好的思路。悬浮在大气中的沙尘粒子的直径比大气分子大得多,但一般又比云要小,个别被吹到低空的沙粒甚至比云滴还大。但从总体上来讲,可以认为沙尘粒子对太阳短波辐射的作用介于瑞利散射(大气分子)和 Mie 散射(云滴等)之间。在卫星遥感探测器上感应到的沙尘区的反射率也应介于晴空(瑞利散射)和云之间。

图 1a 是 2000 年 4 月 6 日 08:05 时(UTC,下同)的 NOAA 卫星可见光云图。图上的 3 个小区 A、B 和 C 分别是云区、沙尘区和晴空区。图 1b 是与图 1a 相对应的 A、B 和 C 3 个小区的可见光 ch1 辐射测值直方图。各个小区的辐射测值十分集中,峰值显著,但各个峰值之间的差值也相当显著,这正好成为我们在卫星图像上提取和识别沙尘区的重要依据。

悬浮在空中的沙尘粒子的发射特性既与粒子的构成(直径大小和分布)有关,也与粒子的浓度有关。对短波红外窗区通道( $3.7\mu$ 波段),在卫星遥感的辐射测值中,既有沙尘粒子以本身温度发射的部分辐射,也有沙尘粒子对太阳辐射在这个波段范围内的后向散射部分,其大小又与沙尘粒子的构成和浓度有关。综合考虑上述两方面的作用,可以从通道 3 和通道 4 的差值辐射值分布来判识沙尘暴区。

图 2a 是 2000 年 4 月 6 日 08:05 时的 NOAA 卫星红外云图,从图上几乎识别不出位于

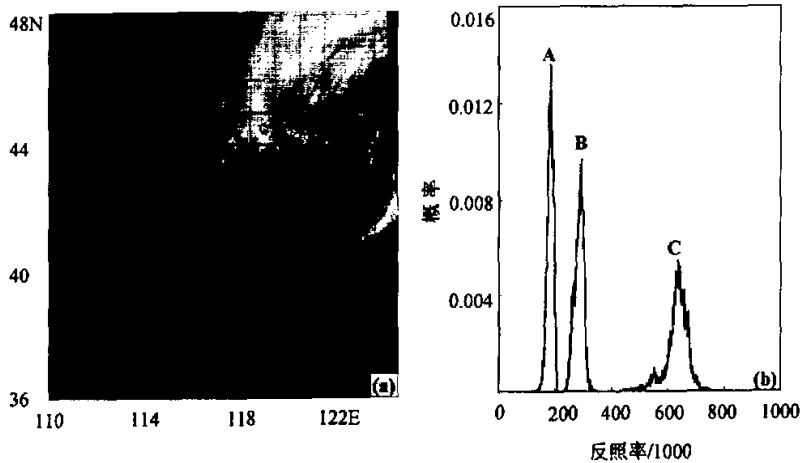


图1 2000年4月6日08:05时NOAA 卫星AVHRR观测的中国东北及华北地区的可见光 ch1 云图(a)和相应时刻A、B和C 3个区域的反照率直方图(b)

Fig.1 A 2000-4-6 northeastern and North China NOAA AVHRR VIS image (a) and area A, B and C reflectivity histogram (b) at 08:05

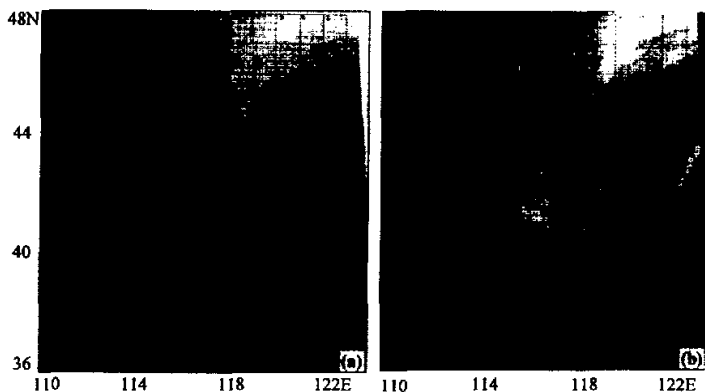


图2 2000年4月6日08:05时NOAA卫星AVHRR观测的中国东北及华北地区的红外ch4云图(a)和短波红外ch3-红外ch4的差值辐射亮温分布图(b)

Fig.2 The same as in Fig.1 but for ch4 image (a) and distribution of brightness temperature difference between ch3 and ch4 (b)

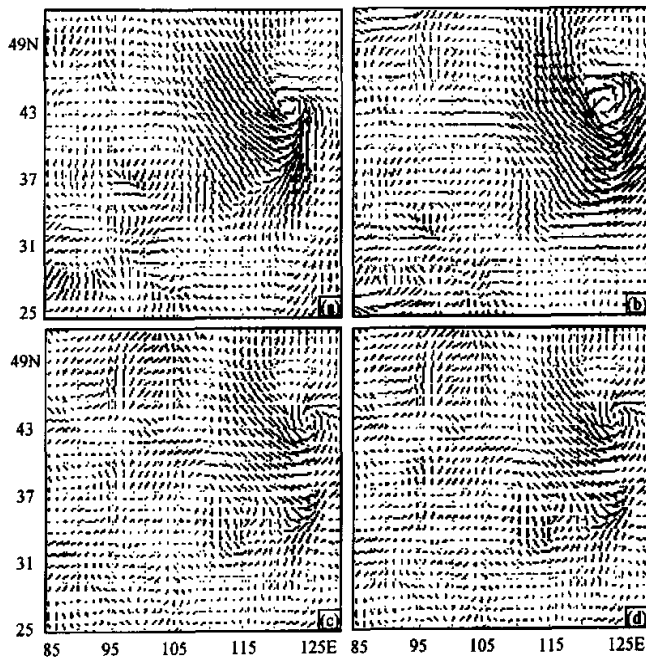


图3 国家气象中心T106模式的2000年4月6日1 000hpa分析场

(a) 00时 (b) 06时 (c) 12时 (d) 18时 箭头表示风向,箭矢的长度表示风速大小

Fig.3 2000-4-6 1 000 hpa T106 wind field analysis

内蒙古、北京一线的沙尘暴区。图 2b 是同一卫星同一时段短波红外 ch3-红外 ch4 的差值辐射亮温分布图。从图上可以清楚地分析出位于内蒙古至北京一线,呈西北-东南走向宽约 500~800km 的一片色调白灰具有纹理结构的区域,其亮度甚至与位于东北的冷涡云系相当。后面的分析将证实这就是沙尘暴区。在差值辐射亮温图上产生的难以把沙尘区与云区有效地区别开来这一问题,若把它与单通道图像(如红外通道 ch4,见图 2a)联合使用,这个问题就迎刃而解了。

### 3 个例分析

2000 年春季,与冷空气爆发相伴随的大风天气频繁发生,加上 1999 年下半年的干旱、底墒不足、裸土疏松,使每一次西北地区的大风天气都伴随一次范围或大或小、强度不等的沙尘天气。其中,以 2000 年 4 月 6~7 日发生在我国内蒙古、影响河北、京津地区,然后进入渤海和黄海的沙尘暴过程较为典型。下面以此为例进行气象卫星遥感监测分析。

#### 3.1 天气形势特点

2000 年 4 月 5~7 日是一次较典型的东北低压发展和东亚大槽的加深过程。与此相伴随的是槽后冷空气从中西伯利亚向东南方向爆发,经蒙古、内蒙古、河北和京津入渤、黄海。

图 3a 是国家气象中心数控室的全球谱模式(T106)初值处理软件生成的 2000 年 4 月 6 日 00 时 1 000hpa 等压面上的风矢量场。从图上可以看到从贝加尔湖东南方的俄罗斯与蒙古交界处一带,一支西北气流直抵京津地区和华北南部。西北气流中大于 20m/s 的强风中心位于沙音山德、二连至张家口一线。气旋中心则位于辽宁-内蒙古东部一带。图 3b、3c 和 3d 分别是同日 06 时、12 时和 18 时 3 个时段 T106 模式的 1 000hpa 分析场。位于东北的低压停滞加深,其环流逐渐完整和扩大范围,低压后部的强西北气流则不断向东南方向推进,06 时其前锋到达渤海湾西侧,12 时跨过辽东半岛进入山东半岛,18 时西北气流越过山东半岛进入黄海和朝鲜半岛北部。就其发展演变过程而言,是一次典型的东北低压加深,西北路径冷空气向华北、东北和渤、黄海爆发的过程。

#### 3.2 气象卫星监测分析

极轨气象卫星差值辐射亮温分布图(见图 2b)已经较好地给出了卫星观测时刻监测到的沙尘暴分布。为了说明其详细的演变,我们利用静止气象卫星的可见光和红外通道,作出了与上述 1 000hpa 分析场相应的卫星监测结果(图 4)。

图 4a 上,沙尘暴主体的前边界位于北京西北部,与同时刻的风场分析图(见图 3a)上的强西北气流十分一致。部分粒径较小的浮尘则越过西北气流的前边界,被诊断分析计算出来的、上升的西南气流(图略)输送到对流层中下部。这一点在短波红外 ch3-红外 ch4 的差值辐射亮温分布图(见图 2b)上表现为扩散进入渤海湾色调较淡、较均匀的区域。06 时(图 4g 和图 3b),沙尘暴主体到达渤海海滨,强风区进入渤海,北京完全被沙尘暴覆盖。12 时(云图略和图 3c),强沙尘覆盖北京,20m/s 的强西北气流恰好经过北京,它们的前沿均跨过辽东半岛进入山东半岛。18 时(云图略和图 3d)卫星监测的沙尘区和强西北气流区

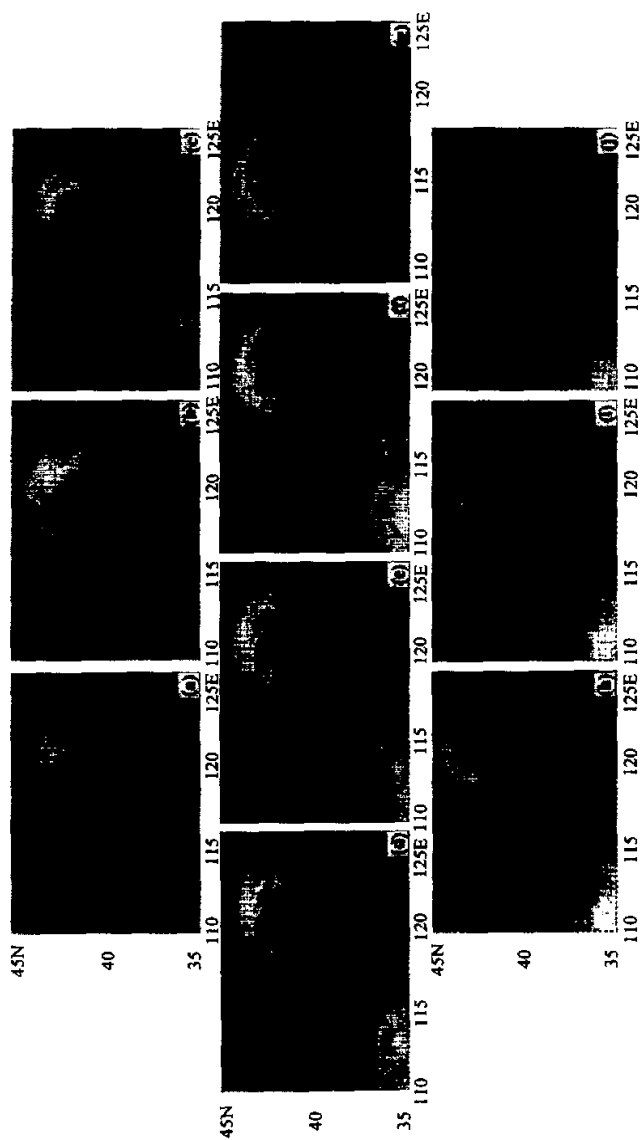


图4 经过不同通道处理和合成的2000年4月6日静止气象卫星的沙尘暴监测序列图

(a) 00:32时, (b) 01:32时, (c) 02:32时, (d) 03:32时

(e) 04:32时, (f) 05:32时, (g) 06:32时, (h) 07:32时

on 2000-4-6

均进一步向东南方向扩展。

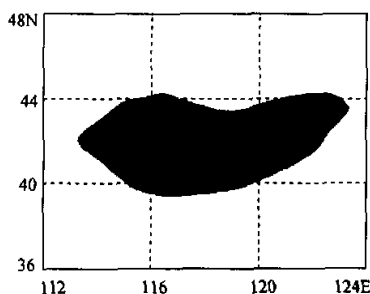


图5 2000年4月6日06时地面天气

图上的沙尘暴区

阴影处为观测的沙尘暴区

Fig.5 The surface identified dust devil area on 2000-4-6

为了证实卫星监测的沙尘暴区域的真实性,我们分析了2000年4月6日06时的地面天气图。图5是这一时刻地面气象观测员目测的沙尘暴区。它与同一时刻气象卫星监测的沙尘暴区(见图4g)和1000hpa的强西北气流区(见图3b)及极轨气象卫星上的差值辐射亮温分布(见图2b)完全一致,充分验证了这两种监测方法的真实性。

## 4 结论

(1) 根据沙尘和大粒子气溶胶的散射和发射特性,利用气象卫星上的可见光、短波红外和红外窗区通道的辐射测值对沙尘暴进行监测是可能的,而且是有效的。

(2) 要实现沙尘范围、光学厚度等的客观定量监测,一方面应增加遥感探测器在可见光和近红外处的光谱通道;另一方面要加强沙尘和大粒子气溶胶的粒径和浓度与发射率和散射因子的关系的研究。

(3) 仅有可见光和红外窗区两个探测通道的静止气象卫星也能对沙尘的爆发进行有效的定性监测。这样,就可以用短时间间隔的静止气象卫星遥感信息对沙尘暴的发生、发展和演变进行监测,为人类对这种自然灾害的监测、警报服务提供强有力的手段。

## 参 考 文 献

- 1 方宗义,朱福康等. 中国沙尘暴研究. 北京:气象出版社,1997. 1~21
- 2 Carlson T N. Atmospheric turbidities in Saharan dust outbreaks as determined by analysis of satellite brightness data. *Monthly Weather Review*, 1979, 107:322~335
- 3 Norton C, Mosher F R, Hinton B *et al.* A model for calculating desert aerosol turbidity over the oceans from geostationary satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 1980, 19:633~644
- 4 Steven A A. Using the radiative temperature difference at  $3.7\mu\text{m}$  and  $11\mu\text{m}$  to track dust outbreaks. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 27:129~133
- 5 Zheng Xinjiang, Lu Feng *et al.* A study of dust storms in China using satellite data. *Proceedings of SPIE*, 1998, 3501:163~168
- 6 Rao P K等著, 许健民,方宗义等译. 气象卫星——系统、资料及其在环境中的应用. 北京:气象出版社,1994. 1~46,403~411

## THE METHOD FOR MONITORING DUST DEVIL USING SATELLITE AND PRELIMINARY RESULTS

Fang Zongyi    Zhang Yungang    Zheng Xinjiang    Cao Yunchang

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

The northwestern China is well-known for its high frequency of dust devil, which may cause traffic jam, soil desertification, bury villages and even life damage. So it becomes one of the severe nature disasters, and affects the economy in the area.

The radical radiative change in the atmosphere by the floating particles is because they not only affect the atmospheric backscattering to the solar short wave radiation, but also its emission. As multi-channel scanning radiometers (AVHRR and VISSR) are installed on polar-orbital (NOAA, FY-1C) and geostationary meteorological satellites (GMS, FY-2B), we can use the available observation data to identify the dust sources.

Analysis on satellite images points out that in VIS and near IR channels, albedos of cloud, dust and open area distinguish from each other. The differences between channel 3 (short IR wave) and channel 4 (long IR wave) show that the value of dust area is similar to that of cloud, but much higher than that of clear sky. The distinction between dust and cloud area can be gotten by combination of short with long IR images.

Case of April 6~7, 2000 dust devil, happened in Inner Mongolia, Hebei province and Beijing-Tianjin district, was studied on the context of short interval 1 000hPa wind field analysis, their time-related satellite monitored dust area and surface observed area on weather maps, indicating that strong wind region (particularly > 20m/s), are consistence with satellite monitored dust area, as well as surface observed area, in the location and development.

It may be concluded that the present operational meteorological satellite can monitor the dust occurrence and its development effectively and serves well in forecasting, monitoring such disasters. However, quatitative determining dust air optical depth and aerosol contents need more sounding channels, as well as relation theory and observation of sand particle size.

**Key words**    dust devil, remote sensing of meteorological satellite, monitor